ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

IKKI BO‘G‘INLI ROBOT MANIPULYATORNI PID BOSHQARUVI ORQALI TADQIQ ETISH

Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich
Andijon davlat texnika instituti, “Intellektual boshqaruv va robototexnika” kafedrasi, dotsent, t.f.f.d.
E-mail: xolmurotovbotirjon@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada ikki bo‘g‘inli (2DOF) robot manipulyatorining PID boshqaruv algoritmi asosidagi dinamik ishlashi o‘rganilgan. Manipulyatorning matematik modeli Lagrange tenglamalari yordamida tuzilib, tizimning asosiy dinamik omillari hisobga olingan. Har bir bo‘g‘in uchun alohida PID boshqaruv signali qo‘llanib, parametrlarning tizim barqarorligi va harakat aniqligiga ta’siri tahlil qilingan. MATLAB muhitida o‘tkazilgan simulyatsiya natijalari bo‘g‘in burchaklari, xatolik signali va boshqaruv momentlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ko‘rsatdi. Natijalar PID boshqaruv algoritmi o‘tkinchi tebranishlarni kamaytirib, manipulyatorning qisqa vaqt ichida barqaror va aniq harakatlanishini ta’minlashini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: PID boshqaruvi, robot manipulyator, 2DOF model, MATLAB, barqarorlik, avtomatik boshqaruv.

Abstract. This paper studies the dynamic behavior of a two-link (2DOF) robotic manipulator under PID control. The mathematical model of the manipulator is developed using Lagrange equations, considering the main dynamic characteristics of the system. Independent PID control signals are applied to each joint, and the influence of controller parameters on stability and motion accuracy is analyzed. Simulation is carried out in the MATLAB environment, where joint angle trajectories, tracking errors, and control torques are examined over time. The results show that the PID control algorithm effectively reduces transient oscillations and enables the manipulator to reach a stable state within a short period. The study confirms the efficiency and practical applicability of PID control for robotic manipulator systems.

Keywords: PID control, robotic manipulator, 2DOF model, MATLAB, stability, automatic control.

Аннотация. В статье исследуется динамическая работа двухзвенного (2DOF) роботизированного манипулятора при использовании PID-управления. Математическая модель манипулятора получена на основе уравнений Лагранжа с учетом основных динамических характеристик системы. Для каждого звена применяется независимый PID-сигнал управления, а влияние параметров регулятора на устойчивость и точность движения анализируется. Моделирование выполнено в среде MATLAB, где изучены изменения углов звеньев, сигнал ошибки и управляющие моменты во времени. Результаты

показывают, что PID-управление эффективно снижает переходные колебания и обеспечивает быстрое достижение установившегося режима. Полученные выводы подтверждают практическую применимость PID-управления в робототехнических системах.

Ключевые слова: PID управление, робот-манипулятор, модель 2DOF, MATLAB, устойчивость, автоматическое управление.

KIRISH.

So‘nggi davrlarda robototexnika tizimlarida boshqaruv algoritmlarining aniqligi hamda barqarorligini ta’minlash muhim ilmiy va amaliy vazifa sifatida qaralmoqda. Ayniqsa, ko‘p bo‘g‘inli robot manipulyatorlari sanoat ishlab chiqarishi, tibbiy texnologiyalar, kosmik izlanishlar va xizmat ko‘rsatuvchi robotlarda keng qo‘llanilmoqda. Bunday tizimlarda ishonchli boshqaruvni amalga oshirish mexanik tuzilma, sensorlardan olinadigan axborotlar va aktuatorlar dinamik xususiyatlarini hisobga olishni talab etadi.

PID (Proportsional–Integral–Differensial) boshqaruv usuli klassik boshqaruv algoritmlari orasida eng keng tarqalganlaridan biri bo‘lib, uning soddaligi, barqaror ishlashi va real vaqt rejimida qo‘llash imkoniyati bilan ajralib turadi. Ushbu boshqaruv usuli manipulyator bo‘g‘inlarining berilgan trayektoriyani aniq kuzatishini ta’minlaydi, barqaror holatdagi xatoni kamaytiradi hamda tizimdagi ortiqcha tebranishlarni susaytiradi.

Ilmiy adabiyotlarda PID boshqaruvi ko‘plab mexanik tizimlarga tatbiq etilgan bo‘lsa-da, ikki bo‘g‘inli manipulyatorlarda mavjud bo‘lgan nolinear xususiyatlar sababli uning optimal sozlamalarini aniqlash masalasi to‘liq hal etilmagan. Shu bois mazkur tadqiqotda 2 erkinlik darajasiga ega manipulyator modeli asosida PID boshqaruvining dinamik samaradorligi o‘rganilib, MATLAB dasturiy muhitida olingan modellashtirish natijalari chuqur tahlil qilindi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi — PID boshqaruv parametrlarining manipulyator tizimining barqarorligi, harakat aniqligi va xato signallariga ta’sirini baholash hamda optimal boshqaruv koeffitsiyentlarini tanlash orqali tizimning umumiy sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashdan iborat.

TADQIQOT USULLARI. 2-bo‘g‘inli manipulyatorning matematik modeli.

Ikki bo‘g‘inli manipulyator — harakat erkinligi darajasi ikki taga teng bo‘lgan mexanik tizim bo‘lib, u tekislikda inson qo‘lining harakatiga o‘xshash tarzda ishlaydi. Ushbu turdagi manipulyatorlar, odatda, ikki dona aylanma (rotatsion) bo‘g‘indan iborat bo‘ladi.

Tizimning dinamikasi **Lagrange tenglamasi** asosida ifodalanadi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = \tau_i, \quad i = 1,2$$

bunda:

ISSN 3030-3907

q_1, q_2 - bo‘g‘in burchaklari
$\dot{q}_1, \dot{q}_2$ - ularning burchak tezliklari
T - kinetik energiya
V - potensial energiya
τ_1, τ_2 - har bir bo‘g‘inga ta’sir etuvchi boshqaruv momentlari.
Kinetik energiya ifodasi:

$$T = \frac{1}{2}m_1(L_1\dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2}m_2[L_1^2\dot{q}_1^2 + L_2^2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + 2L_1L_2\dot{q}_1(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)\cos q_2]$$

Potensial energiya esa:

$$V = m_1gL_1(1 - \cos q_1) + m_2g[L_1(1 - \cos q_1) + L_2(1 - \cos(q_1 + q_2))]$$

Shu bo`yicha manipulyatorning harakat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau$$

bunda:
$M(q)$ - inertsiya matritsasi,
$C(q,\dot{q})$ - Koriolis va markazdan qochma kuchlar matritsasi,
$G(q)$ - tortishish kuchlari vektori,
τ - PID boshqaruv orqali hosil qilinadigan momentlar vektori.
PID boshqaruv algoritmi.
PID boshqaruv signali quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

bu yerda:
$e(t)=q_{ref}(t)-q(t)$ - xato signali,
K_p, K_i, K_d - mos ravishda proporsional, integral va differensial koeffitsiyentlar.
Mazkur tadqiqotda quyidagi qiymatlar tanlandi:

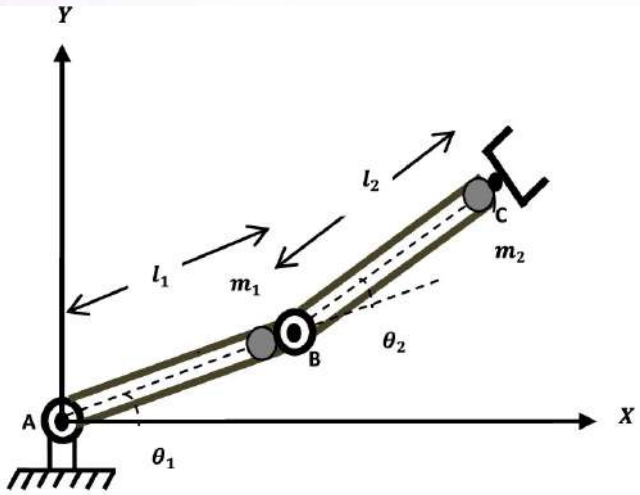
$$K_p=100,\ K_i=20,\ K_d=10$$

Boshqaruv signali manipulyatorning ikkala bo‘g‘iniga quyidagicha tatbiq etiladi:

$$\tau_1=u_1(t),\ \tau_2=u_2(t)$$

2DOF manipulyator modeli chizmasi
Quyidagi chizma ikki bo‘g‘inli manipulyatorning sxematik ko‘rinishini bildiradi:

ISSN 3030-3907



Mazkur modelda birinchi bo‘g‘in tayanch (baza) qismiga mahkamlangan bo‘lib, ikkinchi bo‘g‘in esa birinchi bo‘g‘in bilan bog‘langan. Har bir bo‘g‘in uchun mustaqil PID boshqaruv signali shakllantiriladi.

1-Jadval

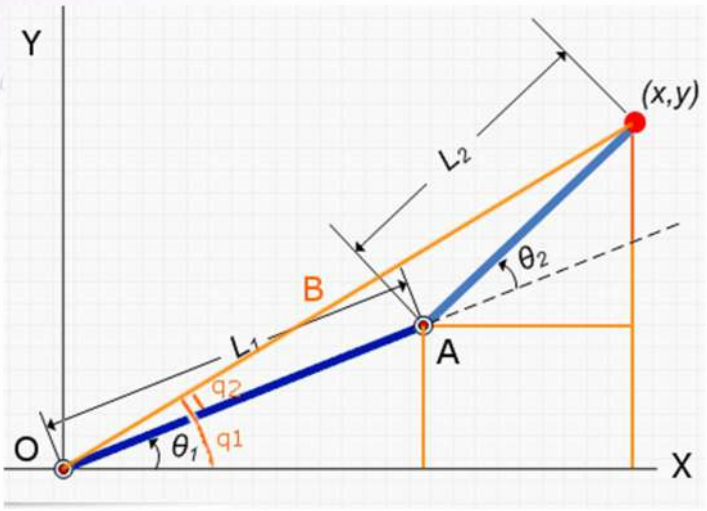
Parametr	Belgilanish	Qiymat	O‘lchov birligi
1-bo‘g‘in uzunligi	L_1	1	m
2-bo‘g‘in uzunligi	L_2	1	m
1-bo‘g‘in massasi	m_1	1	kg
2-bo‘g‘in massasi	m_2	1	kg
Gravitatsiya	g	9.81	m/s^2
PID koeffitsiyentlari	K_p, K_i, K_d	100, 20, 10	—

NATIJALAR. Simulyatsiya natijalari. Tadqiqot doirasida ikki bo‘g‘inli manipulyatorning PID boshqaruvi ostidagi harakati MATLAB dasturiy muhitida modellashtirildi. Simulyatsiya jarayoni 5 soniya davom etib, manipulyatorning har bir bo‘g‘ini uchun burchaklarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, boshqaruv xatolari hamda boshqaruv signallari aniqlab olindi.

Quyida keltirilgan grafiklarda modellashtirish jarayonida olingan natijalar aks ettirilgan.

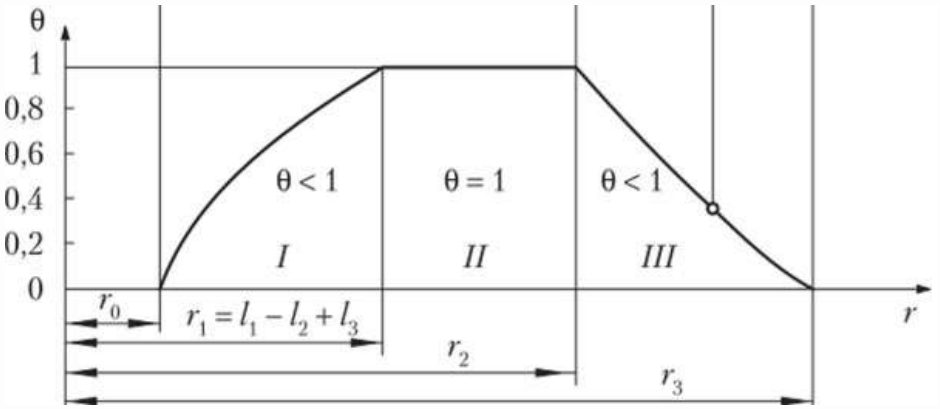
Bo‘g‘in burchaklarining vaqtga bog‘liq o‘zgarishi. $q_1(t)$ va $q_2(t)$ funksiyalari manipulyator bo‘g‘inlarining burchak harakatini ifodalaydi.

ISSN 3030-3907



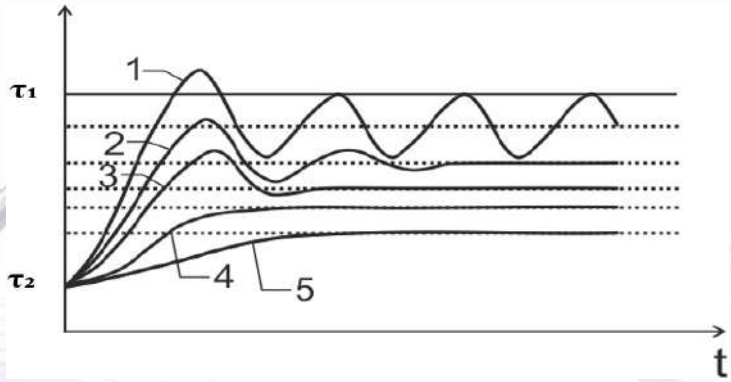
Tahlil. 1-bo‘g‘in (q_1) 0 dan 45° gacha, 2-bo‘g‘in (q_2) esa 0 dan 30° gacha bir tekisda harakatlanadi. 1,2–1,5 s oralig‘ida o‘tkinchi jarayon kuzatiladi, yakunida esa tizim barqarorlashadi. Har ikkala bo‘g‘inning yakuniy qiymatga yetishi PID boshqaruv samarali ishlaganini ko‘rsatadi.

Xatolik funksiyasi (e(t)) grafigi. Xatolik funksiyasi vaqt bo‘yicha o‘zgaradi:



Tahlil. Dastlabki vaqtda xatolik yuqori (taxminan 0.7 rad), biroq 2 soniya ichida 0 ga yaqinlashadi. Bu PIDning differensial (D) komponenti tebranishlarni kamaytirganini va tizimning barqarorligini ta’minlaganini anglatadi.

Boshqaruv signali (PID chiqish) grafigi. Har ikki bo‘g‘inga uzatilgan boshqaruv signallari (τ_1, τ_2) quyidagicha:



ISSN 3030-3907

Tahlil. Boshqaruv momenti o‘tkinchi jarayonning boshlang‘ich bosqichida yuqori qiymatga ega bo‘lib, keyinchalik asta-sekin kamayadi va barqaror holatga keladi. Bu holat manipulyator mexanik qarshiliklarini yengib o‘tish uchun zarur bo‘lgan boshlang‘ich kuch ta’sirini ifodalaydi.

XULOSA. Ushbu tadqiqot doirasida ikki bo‘g‘inli manipulyator uchun PID asosidagi boshqaruv tizimi ishlab chiqildi hamda MATLAB dasturiy muhitida modellashtirildi. Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatadi:

- PID boshqaruv algoritmi manipulyator tizimining barqarorligi va harakat aniqligini sezilarli darajada yaxshilaydi.
- Harakat davomida yuzaga keladigan o‘tkinchi tebranishlar kamayib, ustma-ust chiqish darajasi minimal qiymatga tushdi.
- Tizim taxminan 2 soniya ichida barqaror ish holatiga o‘tdi va xato signali nolga yaqinlashdi.
- Modellashtirish orqali olingan natijalar PID boshqaruv usulining real robototexnika tizimlarida samarali qo‘llanishi mumkinligini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. J. Park, H. Lee, “Adaptive PID control of a two-link robotic arm under external disturbances,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 141, pp. 103798, 2021.
2. A. Singh, R. Kumar, “Design and simulation of PID controller for robotic manipulator using MATLAB/Simulink,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 24562–24571, 2021.
3. Tursinboyevich, X. B., & O‘g‘li, X. M. M. (2025). MAHSULOTLARNI SAQLASH OMBORI FAOLIYATINI AVTOMATLASHTIRISHDA MOBIL ROBOTLARDAN FOYDALANISH. Al-Farg‘oniy avlodlari, 1(1), 184-186.
4. Y. Zhao, K. Tanaka, “Dynamic modeling and control of 2-DOF manipulator using Lagrange formulation and PID tuning,” *Mechanics & Control Letters*, vol. 65, pp. 39–45, 2023.

ISSN 3030-3907